

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Návrh a ergonomie částí v kokpitu studentské formule

Design and Ergonomics of Cockpit Parts of a Student Formula

Student:

Miroslav Thiele

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.

Ostrava 2014

Zadání bakalářské práce

Student: **Miroslav Thiele**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Návrh a ergonomie částí v kokpitu studentské formule**
Design and Ergonomics of Cockpit Parts of a Student Formula

Zásady pro vypracování:

Navrhnete systém ovládání řazení studentské formule SAE v úzké souvislosti s realizací formule na FS VŠB-TUO. Zpracujte přehled možných řešení řadicích mechanismů, ergonomická hlediska konstrukce a vlastní návrh ovládání řazení na formuli SAE. Návrh doplňte o potřebné konstrukční výpočty, výkres podsestavy ovládání řadicího ústrojí v návaznosti na dokumentaci rámu formule a vybraný výrobní výkres. Specifikace zadání:

- realizace pro vznikající formuli SAE na FS VŠB-TUO
- ruční ovládání sekvenčního řazení pro uvažovaný motocyklový motor
- spolehlivá a ergonomická konstrukce.

Seznam doporučené odborné literatury:

KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části pohonů strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008. 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3.

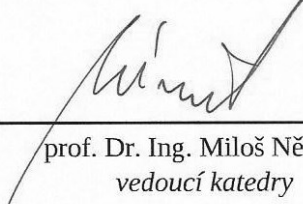
KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. 91 s. Dotisk 1. vyd. 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Daniel Pišťáček, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 19. 5. 2014

Thich

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 19.5. 2014

Thiele

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Miroslav Thiele

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Vřesina, Mírová 27

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

THIELE, M. *Návrh a ergonomie částí v kokpitu studentské formule: Bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2014, 35 s. Vedoucí práce: Pišťáček, D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem ovládání řazení pro studentskou formuli, která se realizuje na FS VŠB – TUO. V úvodu jsou popsány druhy řazení používané v osobních automobilech. Na základě získaných poznatků a konstrukčních možností bylo navrženo několik možných řešení. Z několika možných variant se vybrala jedna, se kterou se dále pracovalo. Praktickým měřením se zjistila síla potřebná na přeřazení, která byla dále nutná k dalším výpočtům. Na základě získané síly bylo možné navrhnout a zkontrolovat ovládací mechanismus. Řadicí páka musela vyhovovat jak pevnostním výpočtům tak z hlediska jednoduché ovladatelnosti. Navržená řadicí páka je zdokumentována v příloze bakalářské práce.

ANITATION OF BACHELOR THESIS

THIELE, M. *Design and Ergonomics of Cockpit Parts of a Student Formula: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2014, 35 s. Thesis head: Pišťáček, D.

The bachelor thesis deals with the design of controls for student formula that is implemented on FS VŠB - TUO. The introduction describes the types of shift used in passenger cars. Based on lessons learned and design options were proposed several possible solutions. Among several possible options in such a way that one to be chosen with which tends to work further. Practical measurements can be used to determine the force required to shift, which was also required for further calculations. On the basis of the measured forces that need to be designed and to check the shifting devices. The shift lever must suit both the stress analysis and in terms of easy handling. The proposed shift lever is shown in the annex of bachelor thesis.

Obsah

	Strana
Seznam použitých značek a symbolů.....	7
0 Úvod.....	8
1 Řazení u osobních automobilů.....	9
1.1 Nepřímé řazení.....	10
1.2 Přímé řazení.....	12
1.2.1 Řadicí ústrojí v převodovce.....	12
1.2.2 Řadicí ústrojí mimo převodovku.....	13
2 Student Formula SAE.....	15
3 Varianty provedení mechanické řadicí páky.....	16
3.1 Varianta č.1 – kombinace táhel a lanek.....	17
3.2 Varianta č.2 – použití lanek (bowdenů)	18
3.2.1 Varianty konstrukčního provedení čepu pro 2. variantu řadicí páky.....	19
4 Technický popis zvolené varianty a použité materiály.....	20
5 Zjištění potřebné síly na přeřazení.....	22
5.1 Postup měření.....	24
5.2 Získaná data.....	25
5.3 Zhodnocení měření.....	27
6 Výpočet výšky pro umístění lanka a výpočet ovládací síly.....	28
7 Kontrola řadicí páky.....	29
8 Výpočet svaru na páce.....	31
9 Výpočet namáhání čepu při řazení na nižší stupeň.....	35
10 Výpočet namáhání čepu při řazení na vyšší stupeň.....	37
11 Závěr.....	39
12 Seznam použité literatury.....	40
13 Seznam příloh.....	42

Seznam použitých značek a symbolů:

a	velikost varu, délka	[mm]
b, c, l, s	délka	[mm]
d	průměr	[mm]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
p	tlak	[MPa]
x	rameno	[mm]
A, L	délka	[mm]
D	průměr	[mm]
F	síla	[N]
J_x, J_y	moment setrvačnosti průřezu osový	[mm ⁴]
J_p	moment setrvačnosti průřezu polární	[mm ⁴]
K	koeficient svaru	[-]
M_k	krouticí moment	[Nm]
M_o	ohybový moment	[Nm]
R	reakce	[N]
R_e	mez kluzu	[MPa]
S	plocha	[mm ²]
W_k	modul průřezu v krutu	[mm ³]
W_o	modul průřezu v ohybu	[mm ³]
β	součinitel tloušťky koutového svaru	[-]
σ	normálové napětí	[MPa]
τ	smykové napětí	[MPa]

0 Úvod

Téma této bakalářské práce jsem si vybral z toho důvodu, že se zajímám o motosport obecně a především o formuli 1 a přijde mi jako dobrá zkušenost podílet se na něčem jako je například projekt studentské formule. Je velice příjemné když vidíte, jak před vámi vzniká něco takového, jako je formule. Další důvod je ten, že toto téma je aktuální a je to první studentská formule, která se staví na VŠB – TU Ostrava.

V teoretické části se budu věnovat konstrukčním řešením řadicích mechanismů používaných v automobilech, jak osobních, tak automobilech závodních. Dále se budu věnovat návrhu možných řešení řazení na studentskou formuli. Řešení způsobu řazení na studentské formuli bude několik, ty se dále vyhodnotí a porovnají. Z několika možných variant se vybere ta nejvhodnější a ta se dále podrobí konstrukčním výpočtům a dalším úpravám, které zlepší konstrukci. Důležité také bude zjistit, jakou silou bude muset řidič studentské formule působit na řadicí páku, aby došlo k přeřazení. Toto se bude zjišťovat praktickým měřením na pohonné jednotce, která bude použita ve studentské formuli.

Cíle práce:

- Srovnání používaných řadicích mechanismu v osobních automobilech
- Návrh možných řešení pro realizaci řadicí páky ve studentské formuli
- Zjištění potřebné síly na přeřazení
- Návrh spolehlivé, ergonomické a funkční konstrukce řadicí páky pro studentskou formuli

1 Řazení u osobních automobilů

Řadicí páka je část složitého mechanismu pro změnu rychlostního stupně. Ve většině automobilů je viditelná pouze horní část řadicí páky s hlavicí a mechanismus, kterým se realizuje řadicí pohyb je zakrytován. Důvodem proč jsou v automobilech používány převodové mechanismy, je ten, že spalovací motor pracuje v určitém rozsahu otáček a v tomto rozsahu otáček vytváří motor nekonstantní točivý moment. Pomocí řadicího mechanismu se tento točivý moment mění tak aby se mohlo vozidlo pohybovat za všech podmínek, jako jsou rozjezdy, zrychlování a jízda do kopce. Nejpoužívanějším typem převodovky je manuální převodovka, dalším poměrně rozšířeným typem převodovky v osobních automobilech jsou převodovky automatické. Řazení můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin, a to na řazení přímé a nepřímé. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma způsoby řazení je přenos síly. U přímého způsobu řazení dojde k přeřazení po sešlápnutí spojkového pedálu vlastní silou řidiče. Konstrukce přímého řadicího ústrojí také závisí na poloze umístění motoru a převodovky. Mohou nastat dvě varianty a to řadicí ústrojí mimo převodovku, nebo řadicí ústrojí v převodovce. Při uspořádání řadicího ústrojí mimo převodovku, se využívá táhel a lanek (bowdenu) pro spojení řadicího ústrojí s převodovkou. V běžných osobních automobilech se nachází řadicí páka s možností volit rychlostní stupně v klasickém schématu H, při tomto schématu řazení musí řidič vykonat volící pohyb a řadicí pohyb aby došlo k přeřazení. Další varianta používaná ve sportovních automobilech je sekvenční řazení. Při použití sekvenčního řazení dochází k postupnému řazení jednotlivých rychlosti. Většina převodovek se sekvenčním řazením nepoužívá přímé řazení ale nepřímé elektrohydraulické nebo elektropneumatické. Nepřímé řazení používané u většiny osobních automobilů se používá pro automatické převodovky, kde řidič zpravidla neřadí jednotlivé rychlosti, ale zvolí si režim, podle kterého za řidiče řadí řídicí jednotka.



Obr. 1. Řadicí páka se schématem řazení H [10]



Obr. 2. Sekvenční řadicí páka převodovky BMW SMG [11]

1.1 Nepřímé řazení

Nepřímé řazení nevyužívá sílu řidiče k přeřazení. Řazení probíhá například elektrohydraulicky jako u převodovky BMW SMG. Nepřímé řazení se v drtivé většině používá u sekvenčních převodovek. Jeden ze způsobů nepřímého řazení je kombinace elektrohydraulické převodovky s elektronicky řízenou spojkou, elektronický systém se stará o řazení bez možnosti zasahování do řazení řidičem. Další způsob je plně samočinné řazení s ponechanou možností přeřazení na řidiči pro některé případy, které mohou nastat v provozu. U samočinného řazení řidič většinou nevolí rychlostní stupeň, ale program, ve kterém za něho řadí elektronická jednotka. Programy, ze kterých si může řidič vybrat je několik například sport, economy, city a podobně podle toho jakou chce mít řidič spotřebu nebo v jakém terénu se zrovna nachází. Další možnost, kterou má většina automatických převodovek, je možnost sekvenčního řazení. Sekvenční řazení nevyužívá klasického schématu řazení H ale postupného řazení jednotlivých rychlostí za sebou. Sekvenční řazení může probíhat pomocí řadicí páky, umístěné klasicky uprostřed vozidla, pákou pod volantem, pomocí tlačítek na volantu nebo pomocí páček pod volantem jako se používají ve sportovních vozidlech nebo ve vozidlech F1.



Obr. 3. Řadicí páka automatické převodovky [12]



Obr. 4. Řazení pomocí tlačítek +a – [5]

U většiny automobilu s automatickou převodovkou a řadicí pákou uprostřed automobilu má páka několik obvyklých poloh jak je vidět na obr. 3. Tyto polohy jsou P-R-N-D, každé písmeno zajišťuje jiný jízdní režim pro P-parkování, R-zpětný chod, N-neutrál, D-běžná jízda.

První sekvenční převodovky se začaly používat u vozidel formule 1 na přelomu osmdesátých a devadesátých let. O něco později se sekvenční převodovky začaly montovat i do osobních automobilů. Mezi první automobily se sekvenční převodovkou patří Ferrari F 355 F1, další sekvenční převodovka je BMW SMG, další automobilky také začaly montovat do svých osobních automobilů sekvenční převodovky. Konstrukce jednotlivých sekvenčních převodovek se u každé automobilky liší, některé využívají elektrohydraulické řazení, jiné zase elektromechanické řazení.

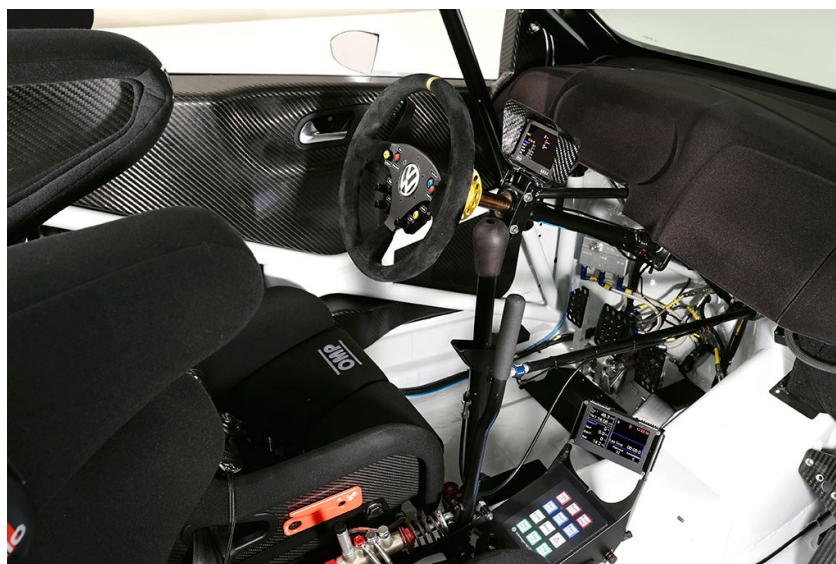


Obr. 5. Pádla pod volantem [13]



Obr. 6. Pádla pod volantem formule 1 [14]

Další sekvenční řazení můžeme najít v závodních vozech WRC viz obr. 7. Na těchto vozech se však nevyužívá nepřímé řazení ale přímé řazení (převodovka je mechanická). V těchto vozech je nejčastěji řadicí páka vyrobená z tyče nebo z polotovaru, nejčastěji z trubky, která může být opatřena závitem, na který se umísťuje hlavice.



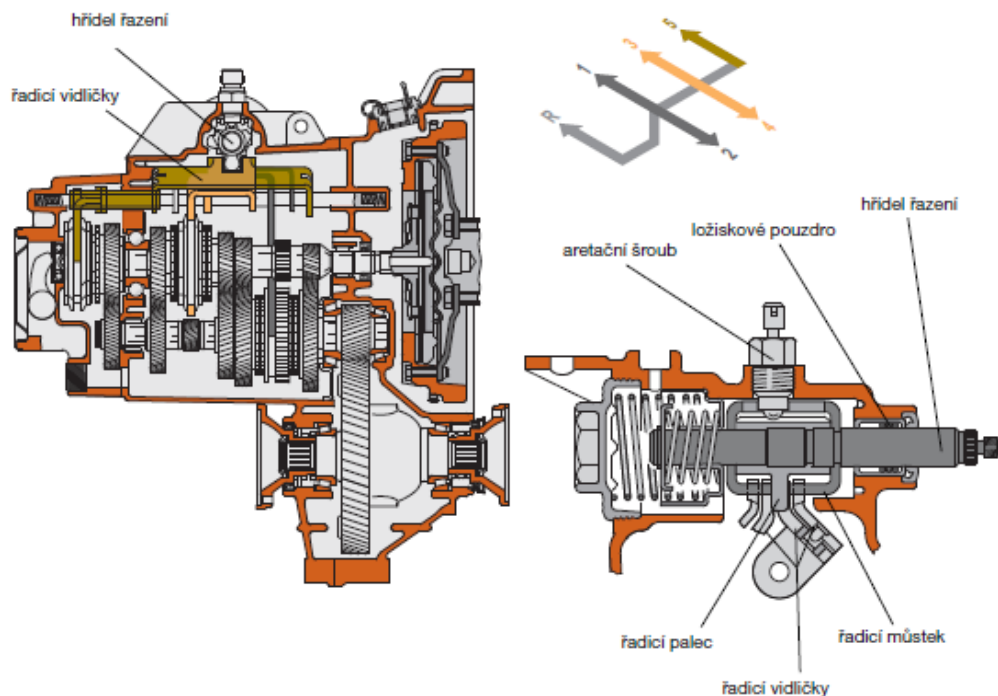
Obr. 7. Řadicí páka WRC automobilu [9]

1.2 Přímé řazení

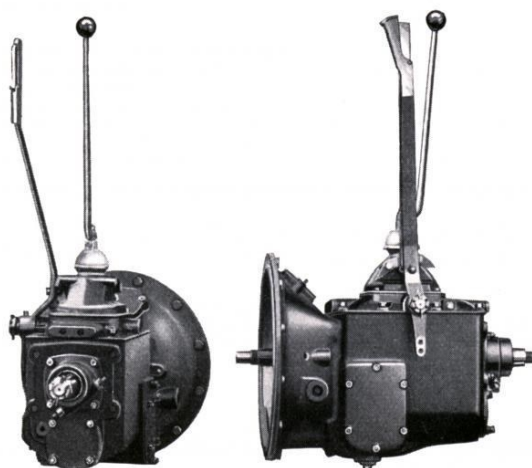
U přímého řazení je zachované mechanické spojení převodovky a řadicí páky. Díky tomuto spojení dochází k přeřazení pomocí síly, kterou řidič působí na řadicí páku. Mechanické spojení a řazení jednotlivých rychlostních stupňů může být realizováno několika způsoby, podle toho kde je umístěná převodovka a kde požadujeme, aby byla řadicí páka. Potom můžou nastat tyto varianty - s řadicím ústrojím v převodovce a řadicím ústrojím mimo převodovku. V obou případech se řadí v klasickém schématu H. V případě použití řadicího ústrojí mimo převodovku, se může síla přenášet z řadicí páky do převodovky pomocí pák a tyčí, nebo pomocí lanek (bowdenů).

1.2.1 Řadicí ústrojí v převodovce

Toto uspořádání se používá, pokud to konstrukce automobilu a umístění převodovky dovoluje. Řadicí páka je umístěná přímo na víku převodovky viz obr. 9. Výhodou tohoto uspořádání je to, že přenos řadicího a volícího pohybu z řadicí páky do převodovky se nemusí řešit. Díky tomuto řadicí mechanismus zabírá méně místa a obsahuje méně částí, což může vést k úspoře hmotnosti a finančních prostředků. Nevýhodou této konstrukce je to, že vibrace z převodovky se přenášejí na řadicí páku a to snižuje jízdní komfort.



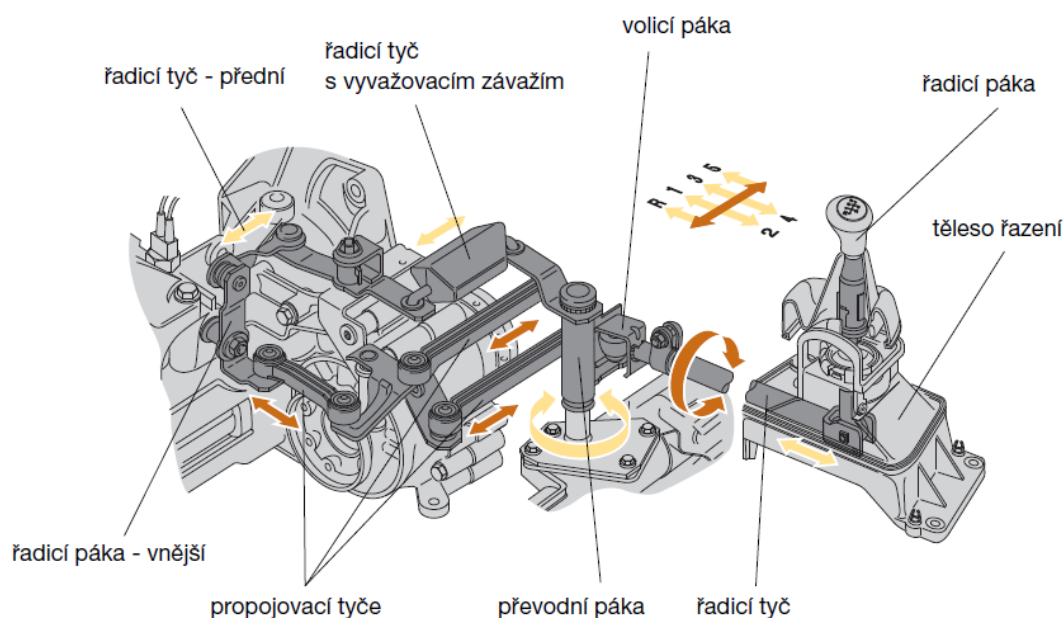
Obr. 8. Řadicí ústrojí uvnitř převodovky 02K [5]



Obr. 9. Řadicí páka na víku převodovky [15]

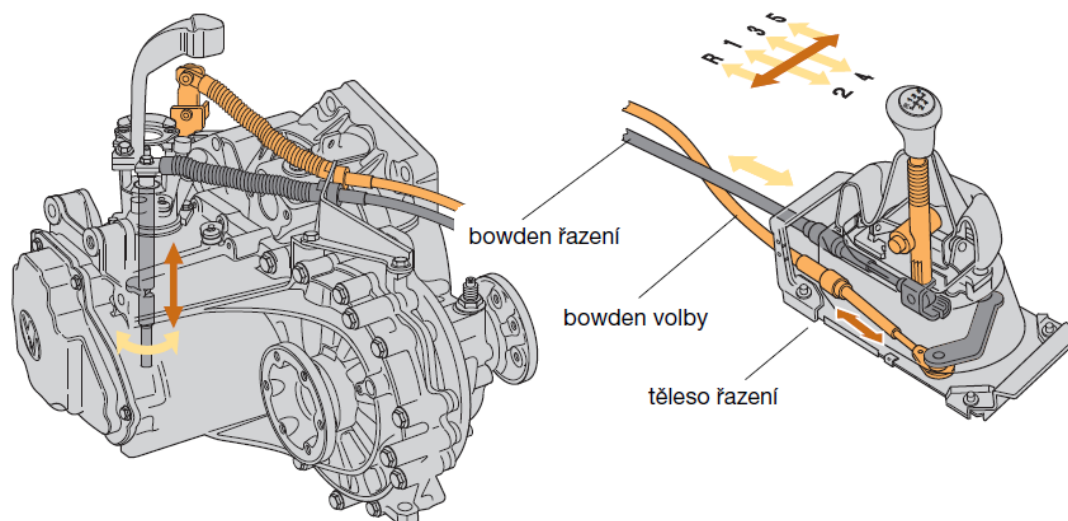
1.2.2 Řadicí ústrojí mimo převodovku

Řadicí ústrojí mimo převodovku se používá tehdy, nejde-li z konstrukčních důvodů použít řadicí páku na víku převodovky. V takovém případě je nutné volicí a řadicí pohyb přenést z řadicí páky do převodovky a to za pomoci pák a tyčí, nebo pomocí bowdenů. Při použití pák a tyčí jako na obr. 10. je vidět, že mechanismus přenosu pohybu z řadicí páky do převodovky je složitý a náročný na prostor. Další nevýhodou je stejně jako u řadicího ústrojí v převodovce přenos vibrací z převodovky na řadicí páku.



Obr. 10. Řadicí ústrojí mimo převodovku [7]

Další variantou je přenos řadícího a volícího pohybu pomocí dvou bowdenů. Výhodou této varianty je nižší hmotnost, menší nároky na prostor a to hlavně díky tomu, že bowdeny se dostanou i tam, kde nelze použít tyče a páky, protože bowden se může ohnout tak, aby se vyhnul překážkám. Další výhodou je, že nepřenáší vibrace z převodovky na řadící páku a tím se zvyšuje jízdní komfort.



Obr. 11. Řadící ústrojí mimo převodovku [7]

2 Student Formula SAE

Týmy studentů a absolventů vysokých škol mají za úkol navrhnout, vyvinout, vyrobit a následně závodit s malými vozidly formulového typu. Všechny týmy musí dodržet pravidla stanovená pro danou kategorii dle [16], jak pro vozidla poháněná spalovacími motory, tak pro vozidla s elektrickými motory. Pravidla omezují minimální prostor v kokpitu, který se zkouší podle šablon, které mají jednoznačně dané rozměry podle pravidel. Dále je stanoveno v pravidlech z jakého materiálu může být rám vyroben, jakým způsobem mohou být jednotlivé části přivařené. V pravidlech je také uvedeno, jaké zatížení musí rám studentské formule vydržet. Tato pravidla jsou důležitá hlavně kvůli bezpečnosti řidičů studentských formulí. V našem případě se jedná o studentskou formuli poháněnou spalovacím motorem YAMAHA YZFR6 599 ccm. Rám je tvořen ocelovou trubkovou konstrukcí. Cílem je postavit konkurenci schopné auto, které bude závodit s Formulemi z ostatních univerzit z celého světa. Na studentské formuli FORMULA STUDENT VSB-TU OSTRAVA CZECH REPUBLIC spolupracuje 8 kateder Fakulty strojní.

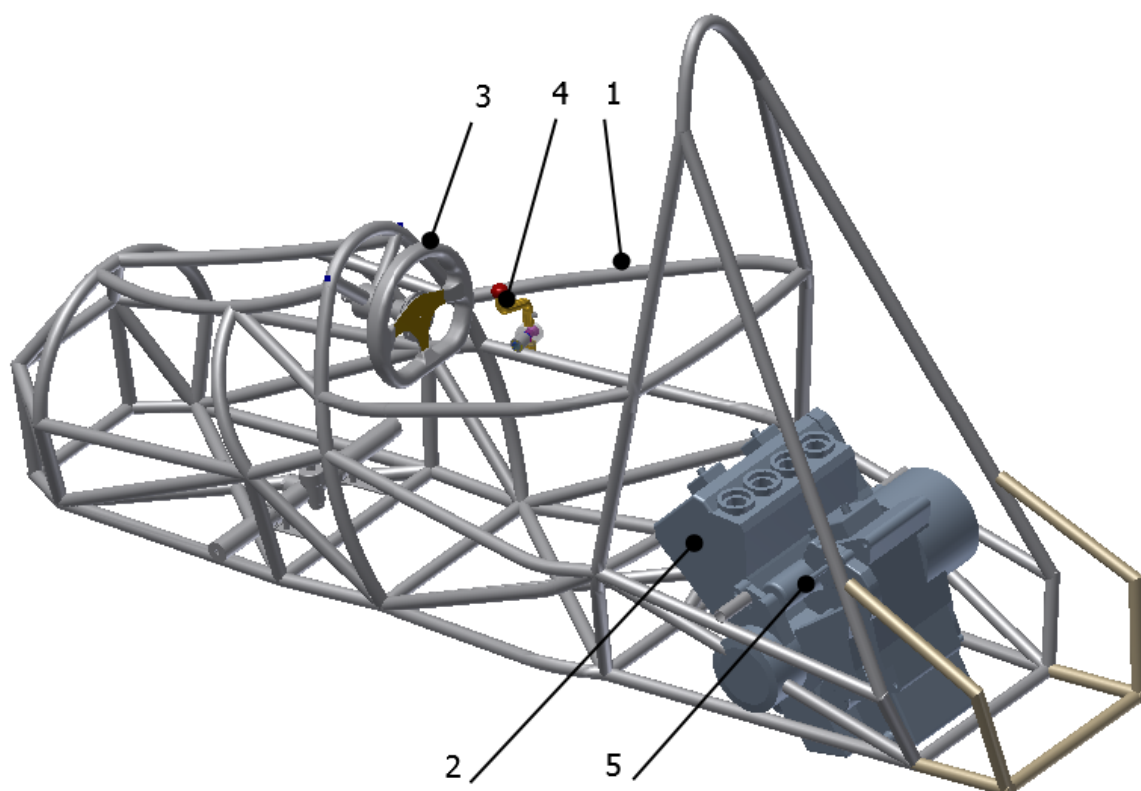


Obr. 12. Logo studentské formule VSB-TUO [8]

3 Varianty provedení mechanické řadicí páky

Variant provedení řadicí páky jsem navrhl několik. Hlavním rozdílem mezi jednotlivými variantami byl ve spojení řadicí páky s převodovkou. Jedna z variant byla použít táhla a pomocí táhel spojit řadicí páku s převodovkou. Tento způsob přenosu nebyl realizován, protože by bylo velice obtížné dostat táhla od řadicí páky až k převodovce s dodržáním pravidel, která musí splňovat studentská formule. Další variantou byla kombinace táhel a lanek a poslední variantou bylo použití lanek bez táhel. Poslední varianta použití lanek bez táhel se nakonec realizovala.

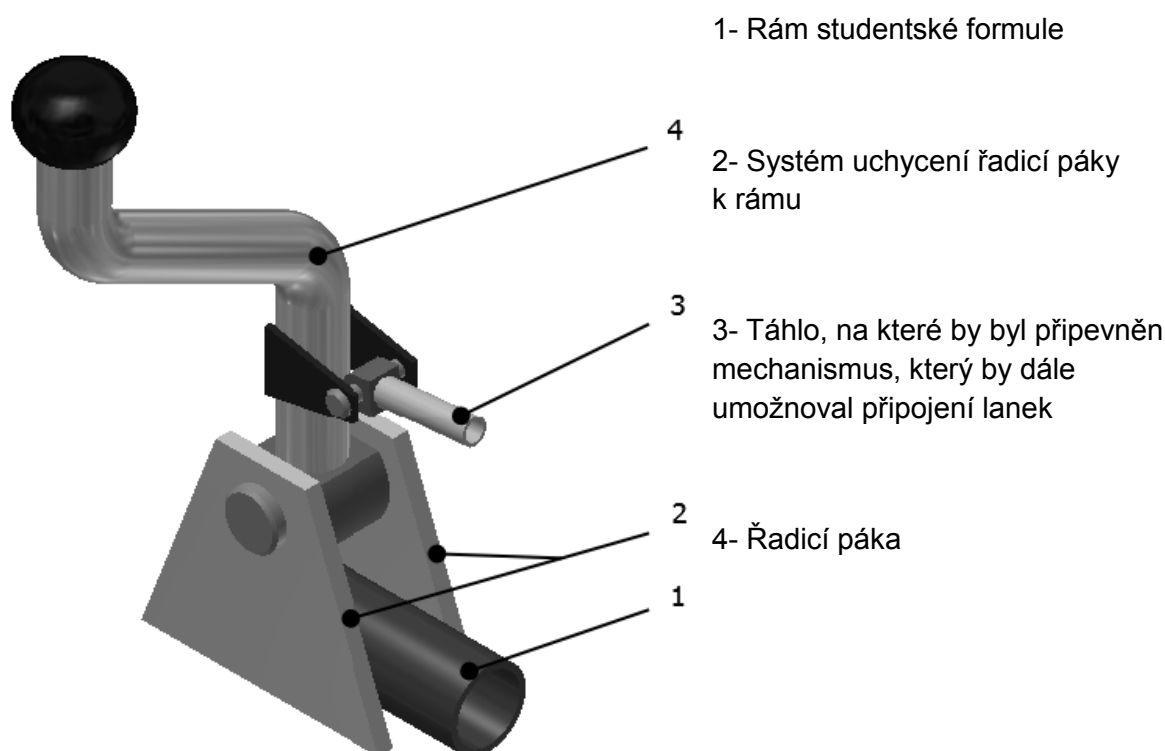
Schéma rámu studentské formule s volantem řadicí pákou a motorem:



Obr. 13. Rám s motorem

- 1-Rám studentské formule
- 2-Motor použitý ve studentské formuli
- 3-Volant
- 4-Řadicí páka
- 5-Hřídel převodovky, která zajišťuje přecházení

3.1 Varianta č.1 - kombinace táhel a lanek



Obr. 14. varianta č.1 řadicí páky

Výhody této varianty:

Snadnější připojení k rámu

Nevýhody této varianty:

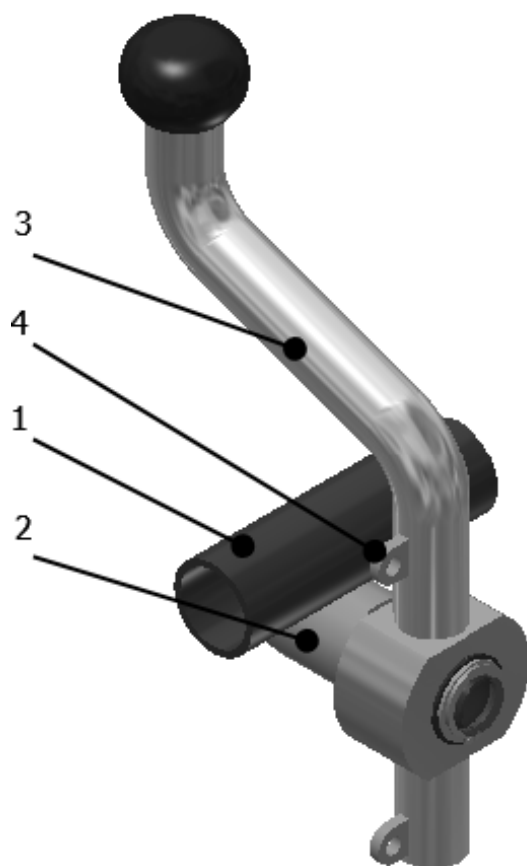
Velký počet částí

Větší hmotnost

Větší nároky na prostor

Tato varianta se nakonec nerealizovala z důvodu nevýhod, které tato varianta přinášela a výhoda této varianty nebyla až tak velká. Největším omezením při návrhu řadicí páky pro studentskou formuli byly nároky na prostor, navíc při kombinaci táhel a lanek u této varianty by byl nutný další mechanismus, který by převáděl pohyb táhla na lanka, protože táhlo se může použít jak pro řazení vyšších stupňů, tak pro řazení nižších stupňů, ale při použití lanek musí mít řazení vyšších stupňů svoje vlastní lanko a řazení nižších stupňů taktéž. Důvodem je to, že lanko můžeme zatěžovat pouze tahem.

3.2 Varianta č.2 – použití lanek (bowdenů)



1- Rám studentské formule

2- Úchyt k rámu

3- Řadicí páka

4- Úchyt na lanko

Obr. 15. varianta č.2 řadicí páky

Výhody této varianty:

Menší hmotnost

Menší počet částí

Menší nároky na prostor

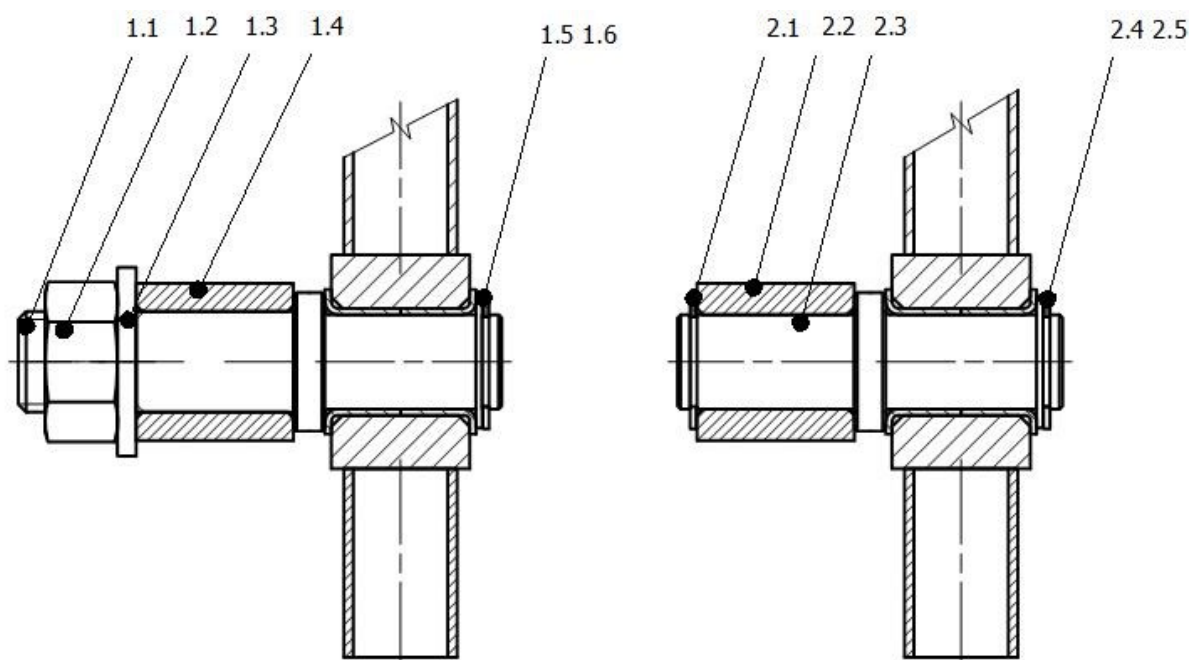
Jednoduchá montáž

Nevýhody této varianty:

Složitější připevnění k rámu

Tato varianta byla nakonec realizovaná z důvodu většího množství výhod oproti předchozí variantě. Nevýhodu této konstrukce se podařilo téměř odstranit vhodným mezikusem vloženým mezi rámem studentské formule a úchytem k rámu. Při použití této varianty lze připevnit úchyt pod rám jak je to na obr. 15., nebo je možné úchyt umístit nad rám. Při využití uchycení nad rámem se sníží namáhání trubky ohybem, jelikož se celá délka páky o něco zmenší, také to přispěje k snížení namáhání svaru a malému snížení hmotnosti.

3.2.1 Varianty konstrukčního provedení čepu pro 2. variantu řadičí páky



Obr. 16. Schéma provedení dvou variant čepu 1. varianta vlevo 2. varianta vpravo

1.1 Čep se závitem

1.2 Matice

1.3 Podložka

1.4 Úchyt k rámu

1.5 Distanční podložka

1.6 Pojistný kroužek

2.1 Čep

2.2 Úchyt k rámu

2.3 Pojistný kroužek

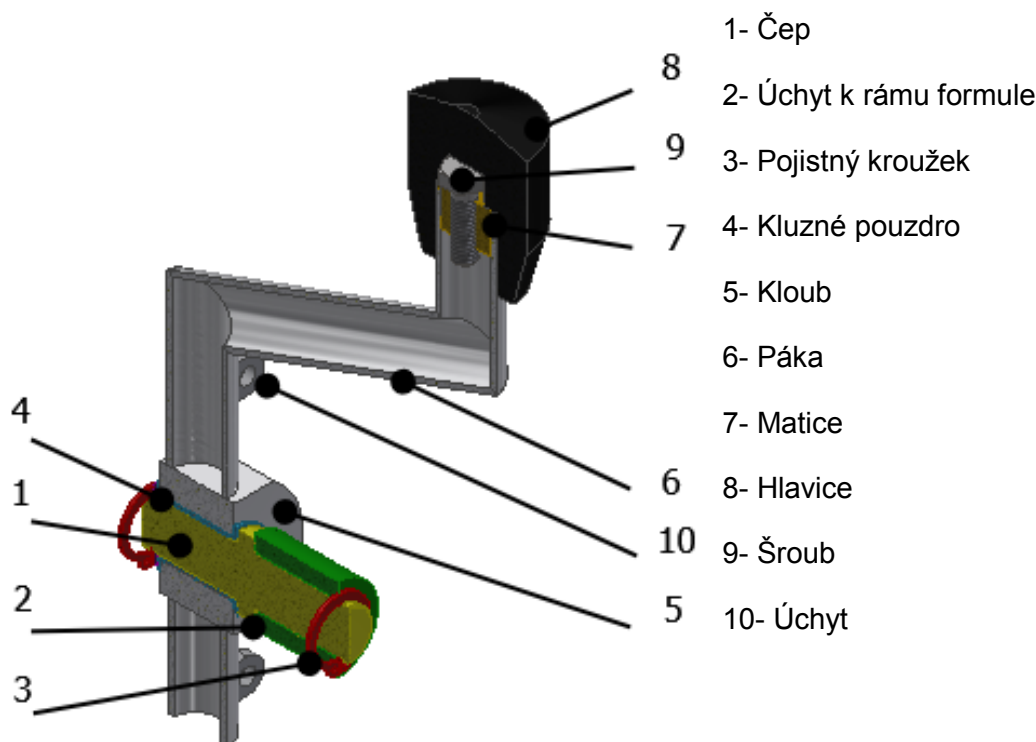
2.4 Distanční podložka

2.5 Pojistný kroužek

Popis variant a výběr vhodné varianty:

1. varianta čepu se závitem je mírně náročnější na výrobu, ale není to žádný významný problém, matice zabraňuje axiálnímu posuvu čepu v úchytu a tím zabraňuje jeho vypadnutí. Výhodou při použití tohoto čepu je, že při dotažení matice se odstraní vůle mezi úchytem a podložkou. Nevýhodou tohoto čepu je, že má větší rozměry a to i při použití nízké matice. Tato nevýhoda je velmi podstatná, protože větší rozměry znamenají větší hmotnost, ale také by větší rozměr mohl způsobovat problém řidiči studentské formule při nasedání, nebo vystupování z vozidla. 2. varianta je méně náročná na prostor, což je výhodnější. Axiálnímu posuvu čepu v úchytu zabraňuje pojistný kroužek. Vůle, která může vzniknout při montáži mezi úchytem a pojistným kroužkem se dá odstranit vložením distanční vymezovací podložky.

4 Technický popis zvolené varianty a použité materiály



Obr. 17. Popis částí řadicí páky

1- Čep:

Čep je z materiálu 11 500. Čep je opatřen osazením, které od sebe odděluje část, na které budou kluzná pouzdra a část, která bude uložena v úchyty na rám formule. Na obou koncích je čep opatřen drážkami na pojistné kroužky.

2- Úchyt k rámu formule:

Úchyt bude přivařen k rámu formule a je z materiálu 11 373. Úchyt bude vyroben z tyče o průměru 25 mm a do této tyče bude vyrobena díra, do které bude umístěn čep. Svary mezi úchytem a rámem budou muset odolat zatížení od síly, kterou vyvine řidič na řadicí páku.

3- Pojistný kroužek:

Pojistný kroužek slouží k zajištění proti axiálnímu posuvu. Montáž a demontáž tohoto pojistného kroužku je jednoduchá, z tohoto důvodu je snadná montáž a demontáž celé řadicí páky. Jde o normalizovaný prvek dle ČSN 02 2930.

4- Kluzné pouzdro:

Kluzné pouzdro je z kompozitu a umožňuje otočný pohyb kloubu na čepu. Kluzné pouzdro bylo zvoleno z důvodu malých rozměrů. Toto ložisko je bezúdržbové.

5- Kloub:

Kloub je vyroben ze slitiny hliníku EN AW 6060. Na tento kloub jsou přivařeny obě části řadicí páky, jak horní díl, tak spodní. Díky otočnému pohybu kloubu dochází následně ke změně převodového stupně.

6- Páka:

Řadicí páka se skládá ze dvou hlavních částí a to z horního a spodního dílu. Horní díl řadicí páky měl být původně vyroben z trubky, která by se ohýbala podle požadovaných rozměrů. Tato varianta se nakonec nerealizovala z důvodu malých rádiusů v místech ohybu, a přistoupilo se k variantě, kde se horní díl svaří z 3 částí. Na horní část řadicí páky je připevněna samotná hlavice, na kterou bude řidič působit silou, aby došlo k přeřazení, dále je zde úchyt na lanko. Na spodní část řadicí páky je připevněn pouze úchyt na lanko. Řadicí páka je vyrobena ze slitiny hliníku EN AW 6060.

7- Matice:

Matice je vyrobena ze slitiny hliníku EN AW 6060 a slouží k připevnění hlavice. Matice se přivaří na horní část trubky.

8- Hlavice:

Hlavice je vyrobena z plastu. Je vyrobena tak, aby umožnila jednoduché řazení a má ergonomický tvar

9- Šroub:

Šroub M6 pevnostní třídy 5.6 zajišťuje spojení hlavice s maticí. Šroub se připevní do hlavice pomocí lepení, to zajišťí, že šroub bude pevně ukotven v hlavici. Druh lepidla se určí až při montáži.

10- Úchyt:

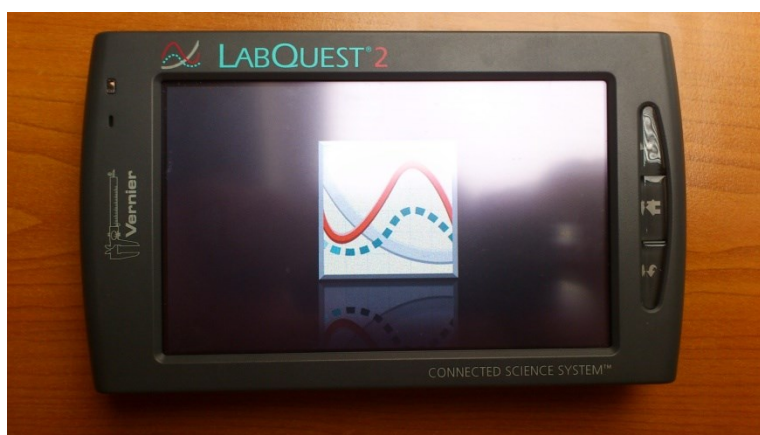
Úchyt je také vyroben ze slitiny hliníku EN AW 6060, aby mohl být přivařen k páce. Na tento úchyt se připevní lanko, které bude realizovat přeřazení.

5 Zjištění potřebné síly na přeřazení

Síla, která je potřebná na přeřazení z jednoho stupně na druhý u motoru, který bude použitý ve Studentské Formuli SAE, byla zjištěna při působení na páku řazení na převodovce. To souvisí s tím, jak velkou sílu bude muset řidič studentské formule vynaložit na přeřazení. Také je nutné znát tuto sílu k návrhu řadicí páky. Podle velikosti síly se pak bude volit potřebný průřez řadicí páky a materiál, který se na řadicí páku použije. K měření byl použit siloměr, který byl připojený na datalogger.

Popis použitého příslušenství:

LabQuest2:



Obr. 18. Datalogger LabQuest2

LabQuest2 je datalogger, což je zařízení pro sběr informací. Toto zařízení může shromažďovat informace od měřicího senzoru a dále je poskytovat počítači. LabQuest2 však nepotřebuje k vyhodnocení dat počítač. Proto se LabQuest2 dá použít přímo na pracovišti, nebo v terénu kde není přístup k počítači.

Základní vlastnosti přístroje LabQuest2:

- Barevný dotykový displej
- WiFi pro spojení s notebooky a možností přeposílání dat přes e-mail
- Možnost připojení bezdrátových senzorů přes bluetooth
- Nástroje jako kalkulačka, periodická tabulka prvků a nástroje pro analýzu a zpracování dat

Kromě senzorů které se dají připojit na LabQuest2 má toto zařízení některé senzory už vestavěné

- 3D akcelerometr
- Mikrofon
- GPS navigace

Konektory:

LabQuest2 má 3 analogové konektory a 2 digitální konektory, do kterých se připojují různé senzory. Dále je vybaven USB a mikroUSB portem pro připojení USB senzorů, a také pro

připojení paměťových zařízení, na které se mohou naměřená data uložit. Další konektor slouží pro napájení.

Senzory:

Na přístroj LabQuest2 je možno připojit mnoho druhů senzorů, podle toho co potřebujeme změřit. K přístroji je možno připojit teploměry, akcelerometry, ampérmetry, voltmetry, siloměry, pH senzory a mnoho dalších s různými rozsahy. Některé senzory také mohou být připojeny k přístroji bezdrátově pomocí bluetooth, což může v některých případech usnadnit práci.

Senzor použitý k měření síly:

Hand Dynamometer:



Obr. 19. Hand Dynamometer

Hand Dynamometer je senzor síly stisku ruky, používá se pro měření síly stisku ruky, nebo na měření síly stisku mezi dvěma prsty. V našem případě ho použijeme pro měření síly, která je potřebná na přeřazení z jednoho stupně na další.

Základní parametry senzoru Hand Dynamometer:

- Rozsah: 0 - 600 N
- Citlivost: 0,21 N
- Přesnost: $\pm 0,6$ N

Jak funguje Hand Dynamometer?

Senzor převádí sílu na elektrické napětí a toto napětí zesiluje. Následně ho posílá do přístroje LabQuest2, kde je síla zaznamenána v jednotkách Newton [N], libra [lb], nebo kilogram [kg]. Data získaná měřením, lze otevřít v přístroji LabQuest2, nebo pomocí software na počítači. V našem případě byl použitý software Logger Lite 1.6.1. Další software, který by mohl být použitý je Logger Pro. Funguje stejně jako Logger Lite, ale navíc je rozšířen o větší množství nástrojů pro analýzu, zpracování a zobrazování dat.

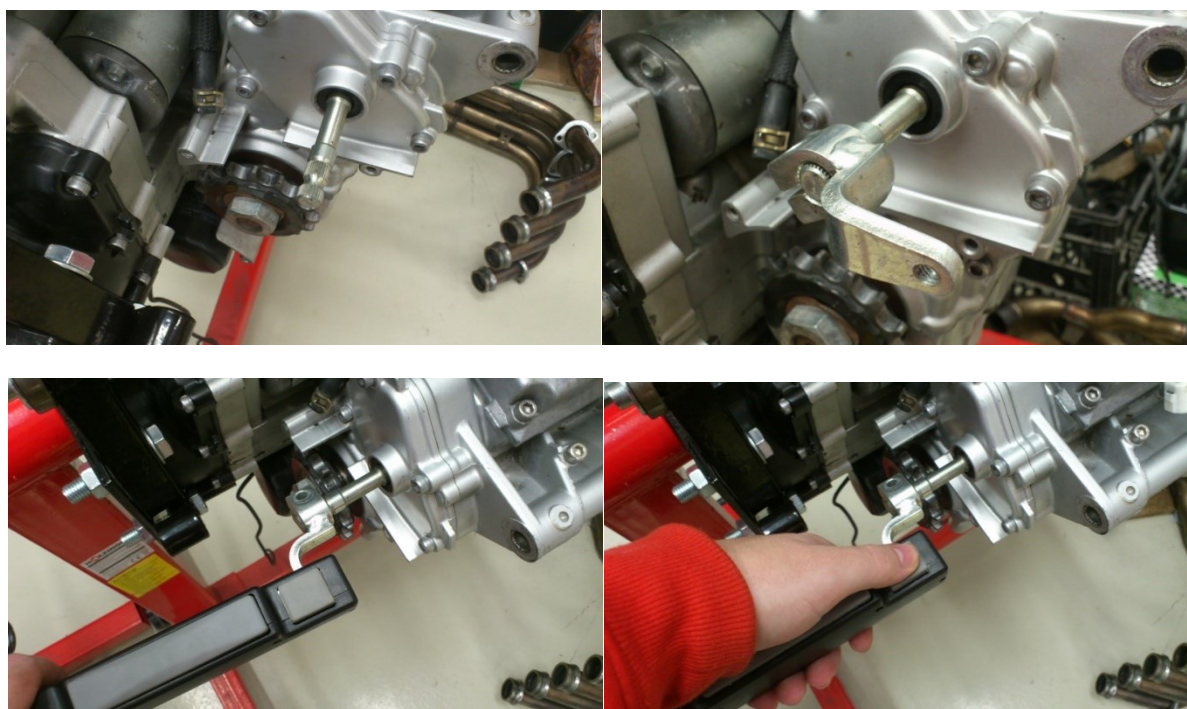
Logger Lite je software pro získávání, zpracování a vizualizaci dat na počítači.

Podmínky při experimentu:

- Měření probíhalo za pokojové teploty
- Měření probíhalo za normální vlhkosti
- Motor nebyl nastartován

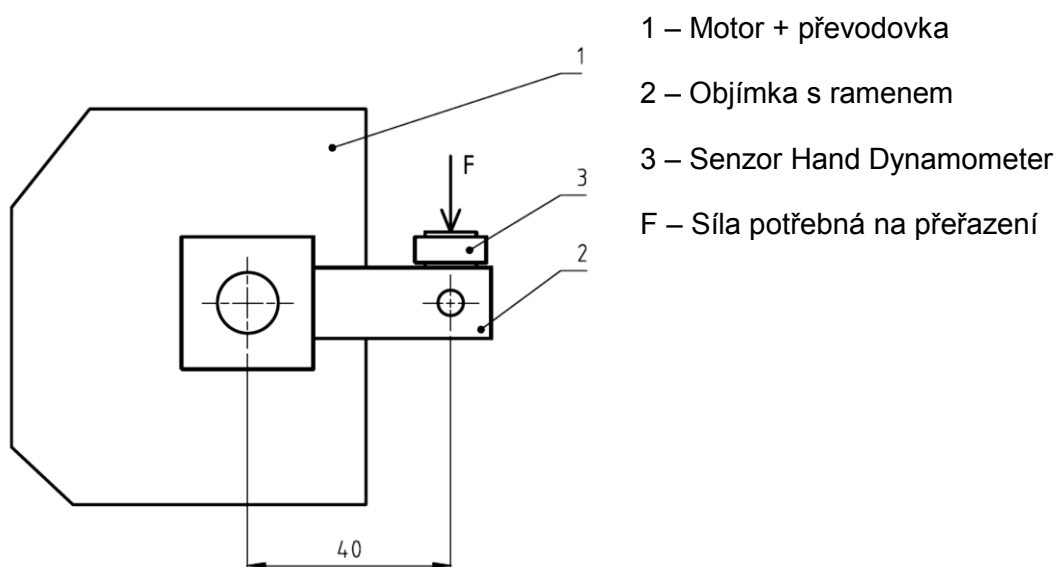
5.1 Postup měření

Měření se provádělo pomocí zařízení LabQuest2 a senzorem Hand Dynamometer na měření síly. Na hřídel, která slouží k změně zařazeného stupně, byla připevněna objímka s ramenem, na kterém bude působit síla. Tato objímka přenáší sílu díky tvarovému styku, tvarový styk je zajištěn jemným drážkováním. Velikost ramene, na kterém bude působit síla, se zjistila pomocí posuvného měřidla. Na toto rameno se umístil senzor na měření síly. Na tento senzor se působilo silou tak, aby došlo k přeřazení. K přeřazení docházelo v co nejkratších intervalech, aby se napodobilo řazení při závodu. Měření se provádělo pro přeřazení nahoru i dolů pro každý stupeň. Každé přeřazení bylo měřeno desetkrát. Pro každé přeřazení vznikl graf a tabulka se silami, které jsou potřebné k přeřazení u jednotlivých stupňů. Pro každé přeřazení bylo zjištěno 10 maximálních hodnot, z těchto hodnot se udělal aritmetický průměr. Největší síla, která bude zapotřebí k přeřazení na určitý stupeň, bude dále použita pro návrh řadicí páky.



Obr. 20. Postup měření

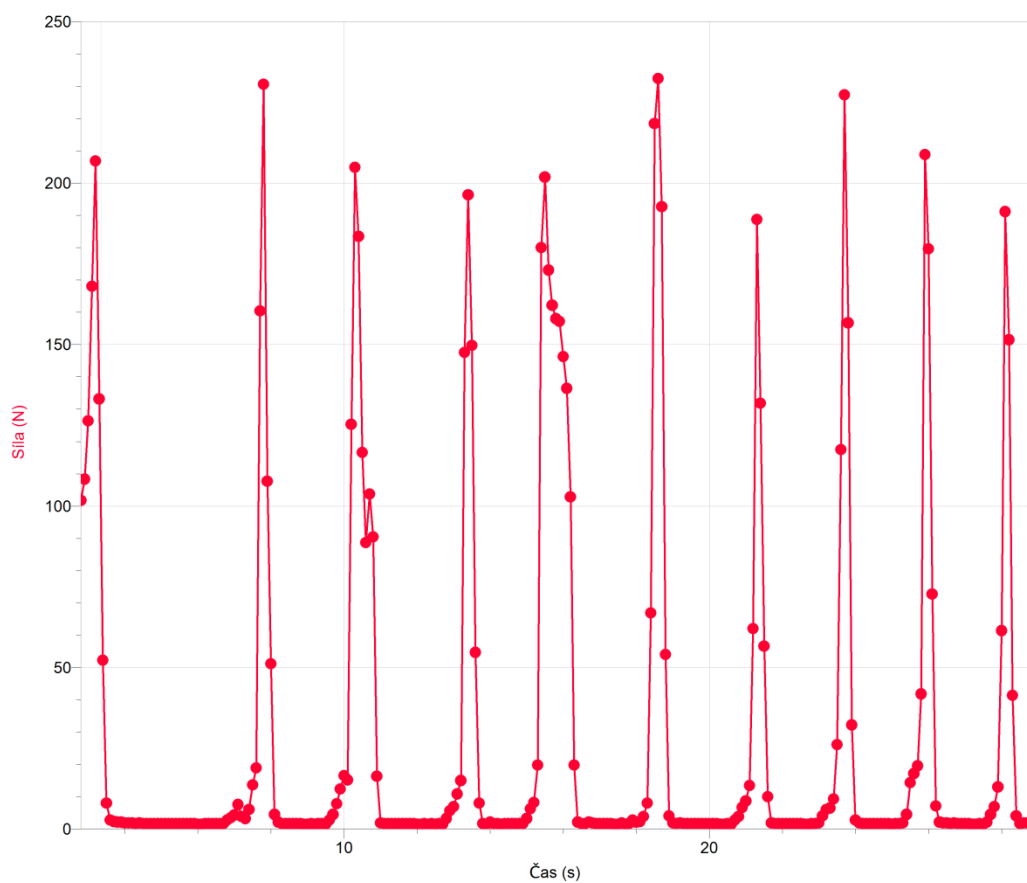
Schéma měření:



Obr. 20. Schéma měření

5.2 Získaná data

Získaná data byly uspořádány do tabulky a do grafu. V grafu je vidět rychlost přerážení a síla potřebná k přerážení, pro přehlednost jsou doplněna data také do tabulek s deseti hodnotami pro každý stupeň.



Obr. 21. Ukázka grafu (přerážení z 5°-6°)

Přeřazení na vyšší stupeň:

Tabulka 1.: hodnoty pro přeřazení na vyšší stupeň (Hodnoty jsou uvedené v [N])

Přeřazení[°]/ Měření[-]	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
1	214,9	153	189	167,8	206,9
2	195,7	160,3	180,3	184,6	230,6
3	200,3	149,5	189,3	178,5	204,9
4	179,2	149,7	187,3	179,8	196,4
5	183,5	148,2	176,9	192,7	201,8
6	172,2	136,6	187,9	172,6	232,4
7	184,6	138,4	181,1	175,5	188,8
8	191,6	152,1	175,5	190,1	227,4
9	182,4	147,5	183,7	185,1	208,8
10	179,9	151,2	179,2	182	191,2
\overline{Fx}	188,43	148,65	183,02	180,87	208,92

Přeřazení na nižší stupeň:

Tabulka 2.: hodnoty pro přeřazení na nižší stupeň (Hodnoty jsou uvedené v [N])

Přeřazení[°]/ Měření[-]	6-5	5-4	4-3	3-2	2-1
1	246,8	209	178,5	132	133,6
2	241,1	240,7	157,8	129,7	151,3
3	243,5	249,4	175,1	139,9	138,6
4	214,9	221,3	164,3	131,8	141,2
5	233,3	229,5	175,2	132,5	153
6	226,5	233,6	168,3	158	137,7
7	240,1	215,6	159,6	153,9	140,5
8	216	221,3	161,3	152,6	151,2
9	230,4	219,6	163,6	145,8	137,6
10	245,3	235,8	172,5	142,7	139,3
\overline{Fx}	233,79	227,58	167,62	141,89	142,4

Postup výpočtu průměrné síly:

$$\overline{Fx} = \frac{\sum F_i}{n} \quad (1)$$

\overline{Fx} – průměrná síla

$\sum F_i$ – součet sil

n – počet měření

Tabulka 3.: Průměrné síly potřebné na přeřazení

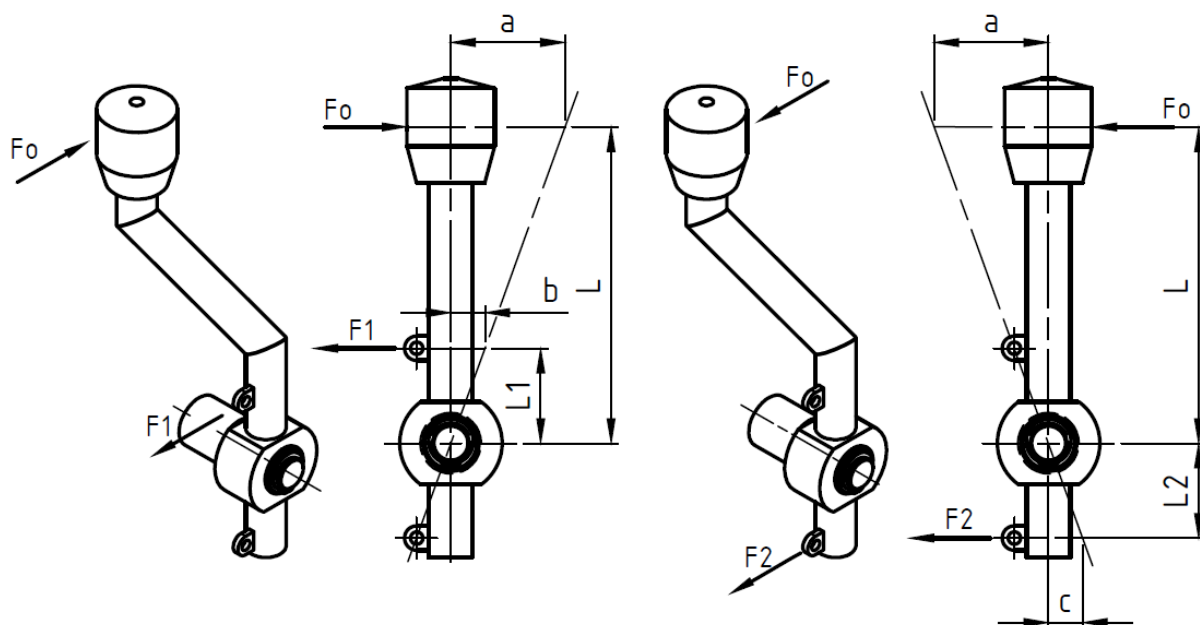
Přeřazení[°]/ Průměrná síla[N]	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
$\overline{F_x}$	188,43	148,65	183,02	180,87	208,92
Přeřazení[°]/ Průměrná síla[N]	6-5	5-4	4-3	3-2	2-1
$\overline{F_x}$	233,79	227,58	167,62	141,89	142,4

5.3 Zhodnocení měření

Měřením se zjistilo, že síla potřebná na přeřazení mezi jednotlivými stupni není vždy stejná. Pro nižší stupně byly síly potřebné na přeřazení menší než u vyšších stupňů. Nejmenší síla byla naměřena u přeřazování z 3° na 2°, největší síla byla naměřena u přeřazování z 6° na 5°. Největší síla měla hodnotu 233,79 N, tato síla bude dále potřebná pro stanovení síly, jakou bude muset řidič studentské formule vynaložit na řadicí páku, aby došlo k přeřazení.

6 Výpočet výšky pro umístění lanka a výpočet ovládací síly

Výpočet se provedl pro řazení na vyšší i nižší rychlostní stupeň.



Obr. 3D schéma řazení a 2D výpočtový model

$F_0=?$	Ovládací síla	[N]	Výpočet
$L_1=L_2=?$	Výška na připevnění lanka	[mm]	Výpočet
$a=40$ mm	Vzdálenost na přeřazení (páka)	[mm]	Voleno
$b=c=12$ mm	Vzdálenost na přeřazení (lanka)	[mm]	Měřeno
$L=130$ mm	Celková výška řadicí páky	[mm]	Voleno
$F_1=F_2=234$ N	Síla kterou musí působit lanko	[N]	Měřeno

Výpočet F_0 z momentové rovnováhy a výška L_1 a L_2 z podobnosti trojúhelníků

$$\frac{a}{L} = \frac{b}{L_1} = \frac{c}{L_2} \quad (2)$$

$$L_1 = L_2 = \frac{b \cdot L}{a} = \frac{12 \cdot 130}{40} = \underline{\underline{39 \text{ mm}}}$$

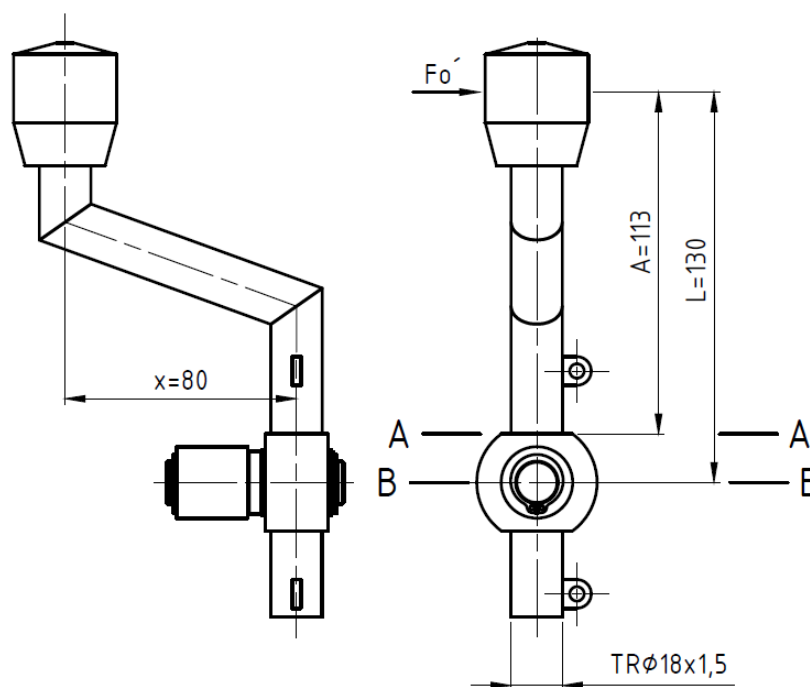
$$F_0 \cdot L = F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2 \quad (3)$$

$$F_0 = \frac{F_1 \cdot L_1}{L} = \frac{234 \cdot 39}{130} = \underline{\underline{70,2 \text{ N}}}$$

Ovládací síla 70,2 N je přijatelná, kdyby byla ovládací síla velmi vysoká, řidič by musel vydávat velmi velké úsilí na přeřazení a zbytečně by se unavoval.

7 Kontrola řadicí páky

Řadicí páka je ze slitiny hliníku s označením EN AW 6060, páka je navržena jako svařenec z trubky o $\varnothing 18$ a tloušťce stěny 1,5 mm.



Obr. 22. Páka namáhaná ohybem a přidavným krutem

$F_0' = 150 \text{ N}$	Ovládací síla s bezpečnostní rezervou
$D = 18 \text{ mm}$	vnější \varnothing trubky
$d = 15 \text{ mm}$	vnitřní \varnothing trubky
$x = 80 \text{ mm}$	rameno, na kterém vzniká přidavný krut

R_e – Mez kluzu materiálu [MPa] dle [3]

$R_e = 140 \text{ MPa}$ pro materiál s chemickým označením AlMgSi (EN AW 6060)

Ovládací síla byla zvýšena. Důvodem bylo, že řidič sice přeřadí silou 70,2 N, ale během jízdy se nemůže věnovat tomu, jak velkou silou může působit na řadicí páku, aniž by ji nějak poškodil, proto se ovládací síla zvýšila na 150 N. Rovněž, byl tímto zvýšením respektován vliv rychlosti přeřazení a tím možný výskyt rázového zatížení.

Kritická místa na řadicí páce jsou dle obr. 22 v rovinách A-A a B-B. B-B je rovina s největším ohybovým momentem, avšak toto místo se nebude kontrolovat z důvodu velkého průřezu. A-A je rovina, ve které bude o něco menší ohybový moment než v místě B-B, ale průřez tímto místem je mnohem menší, proto se bude kontrolovat nosná trubka páky jenom v místě A-A.

Výpočet ohybového momentu v rovině A-A:

$$M_{oA} = F_0' \cdot A = 150 \cdot 113 = \underline{16\,950 \text{ Nmm}} \quad (4)$$

Výpočet krouticího momentu od síly F_0' :

$$M_K = F_0 \cdot x = 150 \cdot 80 = \underline{12\,000 \text{ Nmm}} \quad (5)$$

Výpočet napětí v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M_{oA}}{W_{oA}} = \frac{16950}{296,44} = \underline{57,19 \text{ MPa}} \quad (6)$$

Modul průřezu v ohybu v rovině A-A:

$$W_{oA} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{18^4 - 15^4}{18} = \underline{296,44 \text{ mm}^3} \quad (7)$$

Výpočet napětí v krutu:

$$\tau_K = \frac{M_K}{W_K} = \frac{12000}{592,88} = \underline{20,24 \text{ MPa}} \quad (8)$$

Modul průřezu v krutu:

$$W_K = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{18^4 - 15^4}{18} = \underline{592,88 \text{ mm}^3} \quad (9)$$

Výpočet redukovaného napětí dle hypotézy HMM:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_K^2} = \sqrt{57,19^2 + 3 \cdot 20,24^2} = \underline{67,08 \text{ MPa}} \quad (10)$$

Výpočet bezpečnosti:

$$K_s = \frac{Re}{\sigma_{Red}} = \frac{140}{67,08} = \underline{2,09} \quad (11)$$

kde:

M_{oA} – Ohybový moment v místě A – A [Nmm]

M_K – Kroutící moment [Nmm]

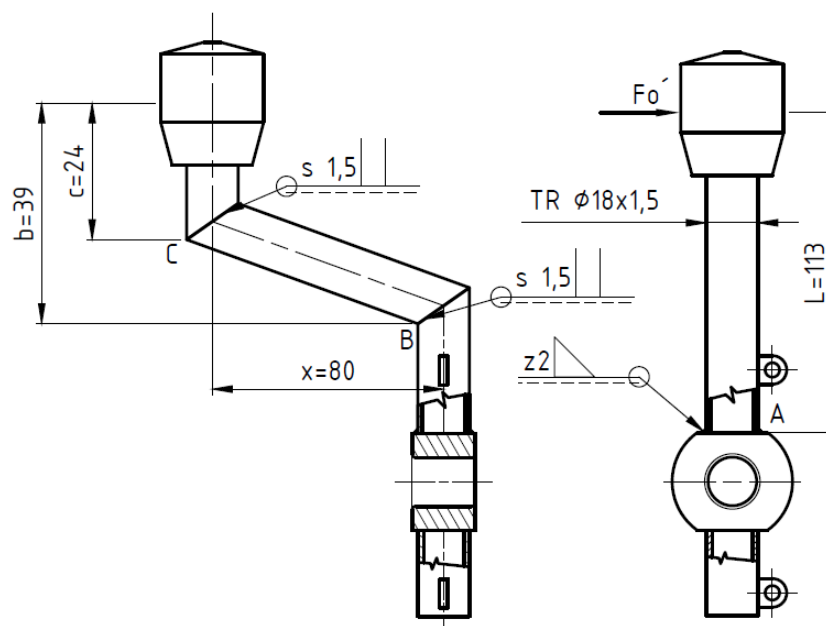
σ_o – Napětí v ohybu [MPa]

τ_K – Napětí v krutu [MPa]

σ_{red} – Redukované napětí [MPa]

K_s – Výsledná bezpečnost [–]

8 Výpočet svaru na páce



Obr. 23. Schéma zatížení páky s rozměry a svary

Svary se budou kontrolovat na páce v rovinách na A, B a C dle obr. 23, budou se kontrolovat jenom pro jeden směr řazení a to pro horší variantu namáhání. Svar použitý v rovině A bude koutový svar obvodový s velikosti $z=2$. Svary v rovině B a C budou tupé, tloušťka stěny trubek je 1,5 mm. Jako přídatný materiál pro svařování bude použit materiál se stejným chemickým složením a stejnými mechanickými vlastnostmi jako svařovaný materiál. Na svařování bude použita metoda 131 (MIG).

Výpočet dle [2]:

Výpočet v rovině A:

Síla F_0 způsobuje 2 rovnoběžné napětí a 1 kolmé.

Velikost svaru: z=2mm

$$a = \frac{z}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{1,41 \text{ mm}}} \quad (12)$$

Výpočet rovnoběžného napětí způsobené silou F_0' na rameni x:

$$\tau_{\parallel}^{Mk} = \frac{M_K}{W_{K_{sp}}} = \frac{F_0' \cdot x}{W_{K_{sp}}} = \frac{150 \cdot 80}{782} = \underline{\underline{15,35 \text{ MPa}}} \quad (13)$$

Výpočet průřezového modulu v krutu:14

$$W_{Ksv} = \frac{J_{Psv}}{\frac{D}{2}+a} = \frac{\frac{\pi}{32} \cdot [(D+2a)^4 - D^4]}{\frac{D}{2}+a} = \frac{\frac{\pi}{32} \cdot [(18+2 \cdot 1,41)^4 - 18^4]}{\frac{18}{2}+2,41} = \underline{\underline{782 \text{ mm}^3}} \quad (14)$$

Výpočet rovnoběžného napětí způsobené silou F_0' :

$$\tau_{\parallel}^{Fo} = \frac{F_0'}{S_{sv}} = \frac{150}{85,9} = \underline{\underline{1,75 \text{ MPa}}} \quad (15)$$

Výpočet plochy svaru:

$$S_{sv} = \frac{\pi}{4} \cdot [(18 + 2 \cdot a)^2 - 18^2] = \frac{\pi}{4} \cdot [(18 + 2 \cdot 1,41)^2 - 18^2] = \underline{\underline{85,9 \text{ mm}^2}} \quad (16)$$

Výpočet kolmého napětí od síly F_0' , která způsobuje ohyb na rameni L:

$$\tau_{\perp}^{Mo} = \frac{M_O}{W_{Osv}} = \frac{F_0' \cdot L}{W_{Osv}} = \frac{150 \cdot 113}{391} = \underline{\underline{43,35 \text{ MPa}}} \quad (17)$$

Výpočet průřezového modulu v ohybu:

$$W_{Osv} = \frac{J_{Xsv}}{\frac{D}{2} + a} = \frac{\frac{\pi}{64} \cdot [(D + 2a)^4 - D^4]}{\frac{D}{2} + a} = \frac{\frac{\pi}{64} \cdot [(18 + 2 \cdot 1,41)^4 - 18^4]}{\frac{18}{2} + 2,41} = \underline{\underline{391 \text{ mm}^3}} \quad (18)$$

Výpočet složeného namáhání a výsledné bezpečnosti:

$$\tau_{v\text{výsledné}} \leq \tau_{Dsv}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\tau_{\parallel}^{Mk}}{K_4}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}^{Fo}}{K_4}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\perp}^{Mo}}{K_3}\right)^2} \leq \beta \cdot \frac{Re}{k_s} \quad (19)$$

$$\sqrt{\left(\frac{15,35}{0,65}\right)^2 + \left(\frac{1,75}{0,65}\right)^2 + \left(\frac{43,35}{0,75}\right)^2} \leq 1,24 \cdot \frac{140}{k_s}$$

$$62,5 \leq 1,24 \cdot \frac{140}{k_s}$$

$$k_s = 1,24 \cdot \frac{140}{62,5} = \underline{\underline{2,77}}$$

Koeficienty K_4 a K_3 se volí dle způsobů zatížení a použité techniky svařování dle [4], $K_4=0,65$, $K_3=0,75$. Mechanické vlastnosti svarového kovu a svařovaného jsou stejné s $Re=140 \text{ MPa}$.

β -součinitel tloušťky koutového svaru

$$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z = 1,3 - 0,03 \cdot 2 = 1,24$$

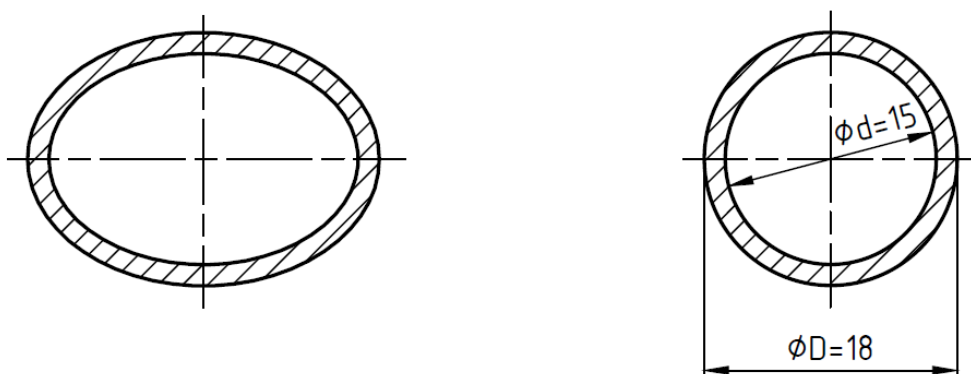
Výsledná bezpečnost svaru v místě A je dostačující, svar v tomto místě vyhovuje.

Výpočet svaru v rovinách B a C:

V rovinách B a C budou kontrolované tupé svary s velikostí $s=1,5$, jelikož jsou svary stejné, bude se kontrolovat svar v místě B, protože v tomto místě je větší namáhání od ohybu a také namáhání krutem, které v místě A není.

Plocha svaru:

Skutečná plocha svaru \Rightarrow Zjednodušená plocha svaru která vstupuje do výpočtu



Obr. 24. Svarová plocha v rovinách B a C

Skutečná svarová plocha bude větší, proto po zjednodušení bude výpočet s větší bezpečností.

Výpočet v rovině B-B:

Síla F_0' způsobuje ohyb, smyk a krut:

Výpočet rovnoběžného napětí způsobené silou F_0' :

$$\tau_{\parallel}^{Fo} = \frac{F_0'}{S_{sv}} = \frac{150}{77,75} = \underline{\underline{1,93 \text{ MPa}}} \quad (20)$$

Výpočet plochy svaru:

$$S_{sv} = \frac{\pi}{4} \cdot [D^2 - d^2] = \frac{\pi}{4} \cdot [18^2 - 15^2] = \underline{\underline{77,75 \text{ mm}^2}} \quad (21)$$

Výpočet kolmého napětí od síly F_0' , která způsobuje ohyb na rameni b:

$$\sigma_{\perp}^{Mo} = \frac{M_o}{W_{Osv}} = \frac{F_0' \cdot b}{W_{Osv}} = \frac{150 \cdot 39}{296,44} = \underline{\underline{19,73 \text{ MPa}}} \quad (22)$$

Výpočet průřezového modulu v ohybu:

$$W_{Osv} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{18^4 - 15^4}{18} = \underline{\underline{296,44 \text{ mm}^3}} \quad (23)$$

Výpočet rovnoběžného napětí způsobené silou F_0' na rameni x:

$$\tau_{\parallel}^{Mk} = \frac{M_K}{W_{Ksv}} = \frac{F_0' \cdot x}{W_{Ksv}} = \frac{150 \cdot 80}{592,9} = \underline{\underline{20,24 \text{ MPa}}} \quad (24)$$

Výpočet průřezového modulu v krutu:

$$W_{Ksv} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{18^4 - 15^4}{18} = \underline{\underline{592,9 \text{ mm}^3}} \quad (25)$$

Výpočet τ :

$$\tau = \sqrt{\tau_{\parallel}^{Fo^2} + \tau_{\parallel}^{Mk^2}} = \sqrt{1,93^2 + 20,24^2} = \underline{\underline{20,24 \text{ MPa}}} \quad (26)$$

Výpočet složeného namáhání a výsledné bezpečnosti:

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{Dsv}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{\perp}}{K_1}\right)^2 + 3\left(\frac{\tau}{K_2}\right)^2} \leq \frac{Re}{k_s} \quad (27)$$

$$\sqrt{\left(\frac{19,73}{0,85}\right)^2 + 3\left(\frac{20,33}{0,7}\right)^2} \leq \frac{140}{k_s}$$

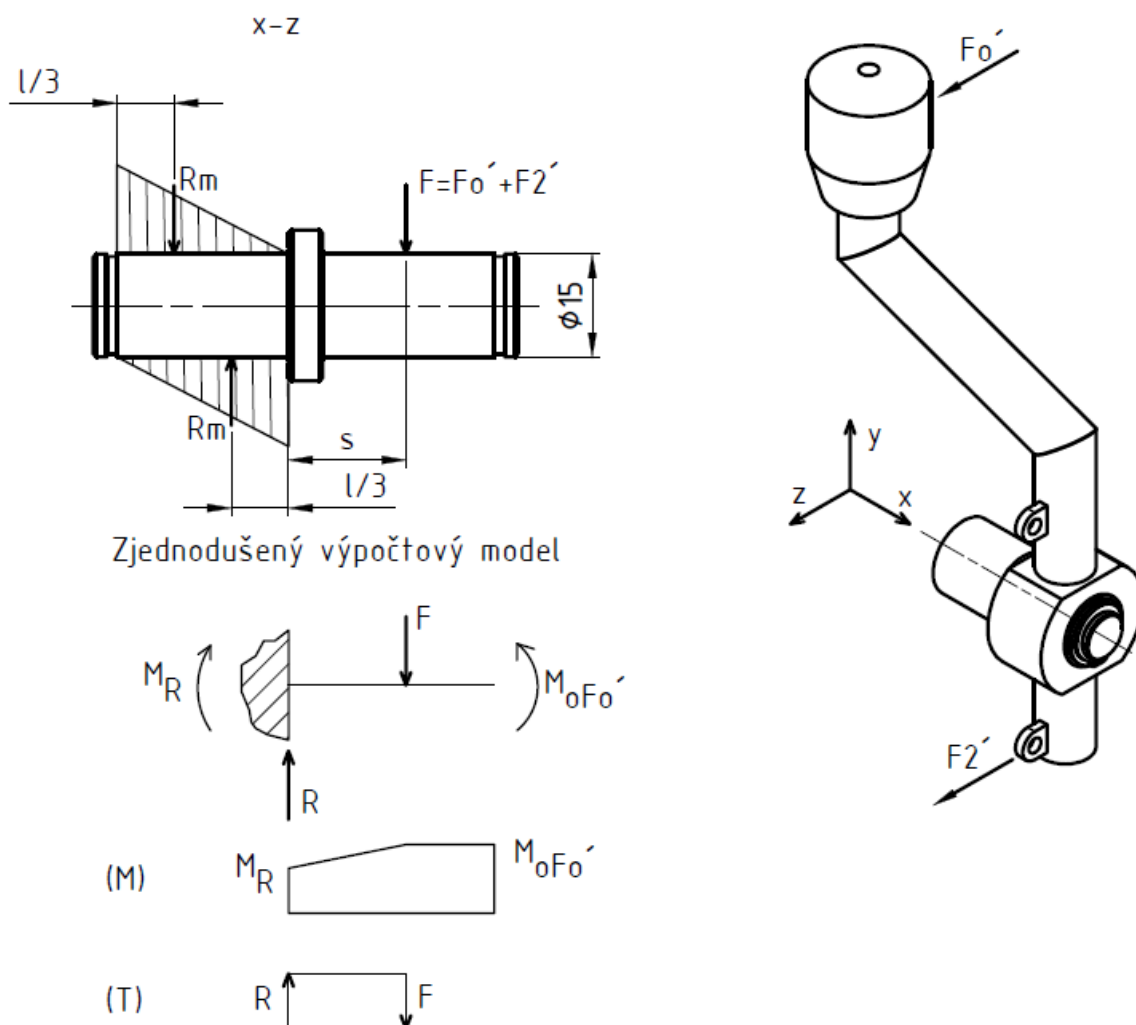
$$55,4 \leq \frac{140}{k_s}$$

$$k_s = \frac{140}{55,4} = \underline{\underline{2,52}}$$

Koeficienty K_1 a K_2 se volí dle způsobů zatížení a použité techniky svařování dle [4], $K_1=0,85$, $K_2=0,7$. Mechanické vlastnosti svarového kovu a svařovaného jsou stejné s $Re=140 \text{ MPa}$.

Výsledná bezpečnost svaru v místě B a C je dostačující, svar v tomto místě vyhovuje.

9 Výpočet namáhání čepu při řazení na nižší stupeň



Obr. 25. Schéma namáhání čepu

$$l = 25 \text{ mm}$$

$$s = 17,5 \text{ mm}$$

Výpočet proveden dle [1]:

Výpočet síly F_2' :

Síla se vypočte z rovnováhy sil na páce stejně jako ve vztahu (2)

$$F_2' = F_1' = \frac{F_1' \cdot l}{L_2} = \frac{150 \cdot 130}{39} = \underline{500 \text{ N}} \quad (28)$$

Výpočet reakcí v čepu při řazení na nižší stupeň:

$$R = F = F_0' + F_2' = 150 + 500 = \underline{650 \text{ N}} \quad (29)$$

$$M_R = R_M \cdot \frac{1}{3} \cdot l = -F \cdot s + M_{oF_0'} = -F \cdot s + F_0' \cdot x = -650 \cdot 17,5 + 150 \cdot 80 = \underline{625 \text{ Nmm}} \quad (30)$$

$$R_M = \frac{3 \cdot (-F \cdot s + M_{oFo'})}{l} = \frac{3 \cdot (-650 \cdot 17,5 + 12000)}{25} = \underline{\underline{75 \text{ N}}} \quad (31)$$

Výpočet průměru z ohybového momentu:

$$\sigma_o = \frac{M_{oFo'}}{W_o} = \frac{F_o' \cdot x}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \leq \sigma_{Do} \quad (32)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_o' \cdot x}{\pi \cdot \sigma_{Do}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 150 \cdot 80}{\pi \cdot 95}} = \underline{\underline{10,87 \text{ mm}}}$$

σ_{Do} je dle [1] 95 MPa pro materiál 11 500

Kontrola měrného tlaku čepu v kloubu:

$$p_1 = \frac{F}{s} = \frac{F}{l \cdot d} = \frac{650}{25 \cdot 15} = \underline{\underline{1,73 \text{ MPa}}} \quad (33)$$

$$p_1 \leq p_{D1}$$

$$1,73 \leq 5 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kontrola měrného tlaku čepu v kloubu:

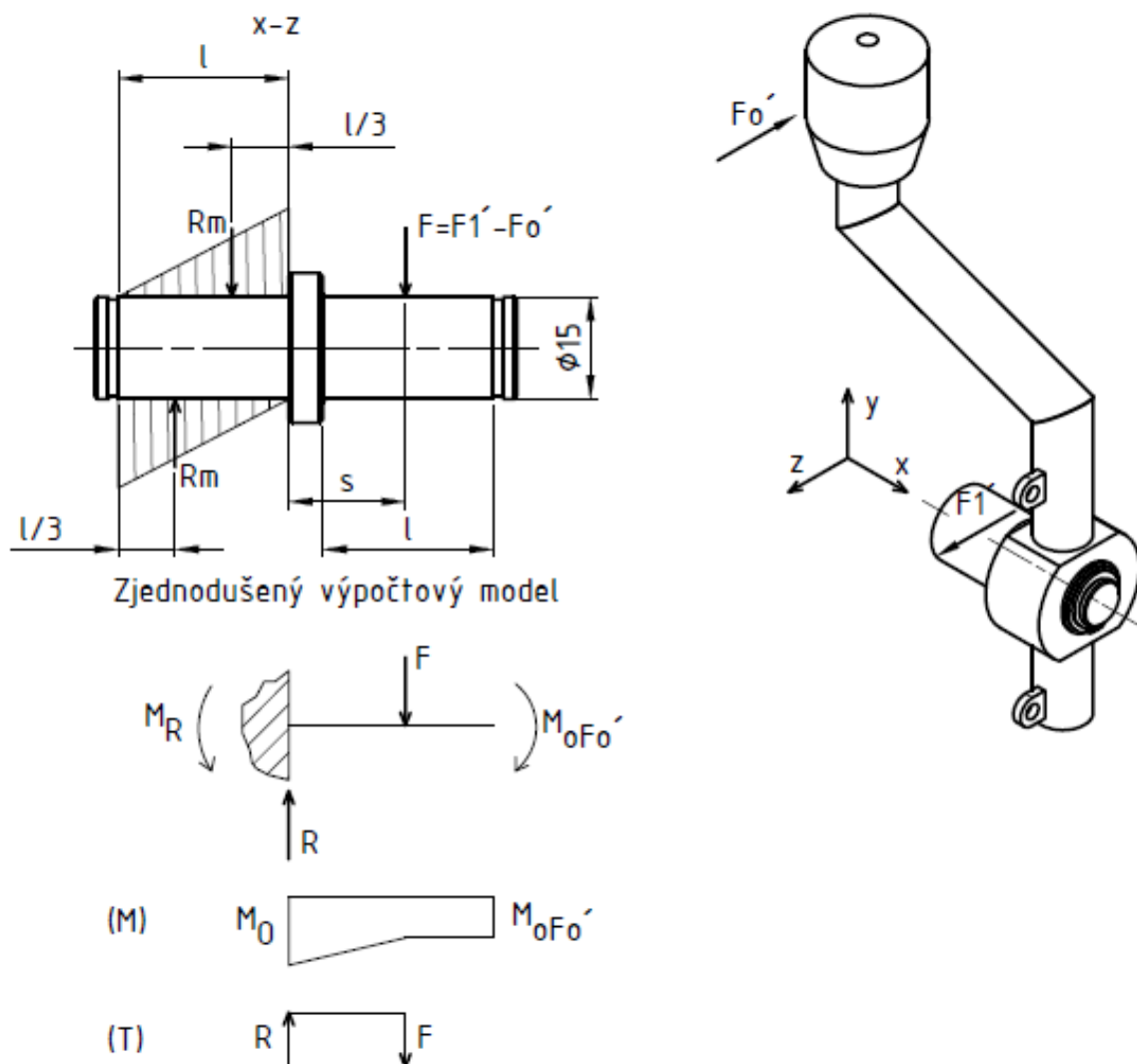
$$p_2 = \frac{F}{s} = \frac{2 \cdot R_M}{l \cdot d} = \frac{2 \cdot 75}{25 \cdot 15} = \underline{\underline{0,4 \text{ MPa}}} \quad (34)$$

$$p_2 \leq p_{D2}$$

$$0,4 \leq 110 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Dovolený tlak p_{D1} zvolen dle [6] je 5 MPa, dovolený tlak p_{D2} zvolen dle [1] je 110 MPa oba dovolené tlaky jsou větší než vypočtené, proto můžeme říct, že čep s průměrem 10,87 mm by vyhověl ohybu na otláčení pro řazení dolů. Po zjištění průměru čepu pro řazení nahoru se může navrhnout průměr, který vyhoví oběma požadavkům.

10 Výpočet namáhání čepu při řazení na vyšší stupeň



Obr. 26. Schéma namáhání čepu

$$l = 25 \text{ mm}$$

$$s = 15,5 \text{ mm}$$

Výpočet proveden dle [1]:

Výpočet reakcí v čepu při řazení na vyšší stupeň:

$$R = F = F_1' - F_0' = 500 - 150 = \underline{350 \text{ N}} \quad (35)$$

$$M_R = R_M \cdot \frac{1}{3} \cdot l = F \cdot s + M_{0Fo'} = F \cdot s + F_0' \cdot x = 350 \cdot 17,5 + 150 \cdot 80 = \underline{18125 \text{ Nmm}} \quad (36)$$

$$R_M = \frac{3 \cdot (F \cdot s + M_{0Fo'})}{l} = \frac{3 \cdot (350 \cdot 17,5 + 12000)}{25} = \underline{2175 \text{ N}} \quad (37)$$

Výpočet průměru z ohybového momentu:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F_o' \cdot x + M_{oFo'}}{\frac{\pi}{32} \cdot d^3} \leq \sigma_{Do} \quad (38)$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (F \cdot s + M_{oFo'})}{\pi \cdot \sigma_{Do}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (350 \cdot 17,5 + 12000)}{\pi \cdot 95}} = \underline{\underline{12,5 \text{ mm}}}$$

σ_{Do} je dle [1] 95 MPa pro materiál 11 500

Kontrola měrného tlaku čepu v kloubu:

$$p_1 = \frac{F}{s} = \frac{F}{l \cdot d} = \frac{350}{25 \cdot 15} = \underline{\underline{0,93 \text{ MPa}}} \quad (39)$$

$$p_1 \leq p_{D1}$$

$$0,93 \leq 5 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kontrola měrného tlaku čepu v kloubu:

$$p_2 = \frac{F}{s} = \frac{2 \cdot R_M}{l \cdot d} = \frac{2 \cdot 2175}{25 \cdot 15} = \underline{\underline{11,6 \text{ MPa}}} \quad (40)$$

$$p_2 \leq p_{D2}$$

$$11,6 \leq 110 \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Dovolený tlak p_{D1} zvolen dle [6] je 5 MPa, dovolený tlak p_{D2} zvolen dle [1] je 110 MPa oba dovolené tlaky jsou větší než vypočtené, proto můžeme říct, že čep s průměrem 12,5 mm by vyhověl ohybu na otlačení pro řazení nahoru.

Čep pro řadicí páku bude z materiálu 11 500 s průměrem 15 mm, což vyhovuje jak pro řazení nahoru tak pro řazení dolů.

11 Závěr

V úvodu této bakalářské práce jsem se věnoval porovnání používaných řadicích mechanismů u osobních automobilů. Popsal jsem jednotlivé výhody a nevýhody různých druhů řazení. V další části jsem navrhnul několik možných provedení řadicí páky a vybral jsem variantu, která byla nejvhodnější, pro studentskou formuli. Jednotlivé navrhované varianty se lišily v přenosu řadicího pohybu. První varianta byla s použitím táhel, nebo s použitím kombinací táhel a lanek. Tyto varianty se nakonec nerealizovaly a realizovala se varianta kde se řadicí pohyb přenášel jenom pomocí táhel. Ke kontrole této varianty jsem potřeboval zjistit sílu, která bude potřeba na přeřazení. Tuto sílu jsem změřil pomocí siloměru. Díky této síle jsem mohl navrhnout spolehlivou, ergonomickou a funkční konstrukci řadicí páky pro studentskou formuli. Závěrem bych rád poděkovat Ing. Danielu Pišťáčkovi Ph.D. za pomoc a cenné rady při řešení bakalářské práce.

12 Použitá literatura

- [1] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části pohonů strojů*. Dotisk 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2012. 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [2] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2007. 91 s. Dotisk 1. vyd. 2008. ISBN 978-80-248-1290-8.
- [3] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Třetí doplněné vydání. Úvaly, 2006 ISBN 80-7361-033-7
- [4] Dejl, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů*. Montanex a.s 2000; ISBN 80-7225-018-3
- [5] JAN, Zdeněk, ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 2. Převody*. 2. vydání. Brno, 2001 EAN 9788090367159
- [6] SKF, *Kluzná ložiska* [online]. 2012 [cit. 2014-15-2]
dostupné z: <http://www.skf.com/binary/151-107917/SKF-composite-plain-bearings---11004-EN.pdf>
- [7] Řadící ústrojí, [online]. 2012 [cit. 2014-20-1]
dostupné z: <http://www.skolahostivar.cz/DownloadPF/18.pdf>
- [8] Studentská formule Ostrava, *logo*, [online]. 2013 [cit. 2014-13-3]
dostupné z: http://formula.vsb.cz/wp-content/uploads/2013/09/nove_logo_2.jpg
- [9] Řadící páka, *řadící páka WRC automobilu*, [online]. 2014 [cit. 2014-17-3]
dostupné z: <http://www.autocarbike.com/2013-volkswagen-polo-r-wrc-review/2013-volkswagen-polo-r-wrc-cabin-interior-wallpaper-hd-7/>
- [10] Řadící páka, [online]. 2014 [cit. 2014-17-3]
dostupné z: <http://svetmotoru.auto.cz/galerie/technika/5439/?foto=1>
- [11] automatická převodovka, *BMW SMG Gearbox*, [online]. 2014 [cit. 2014-18-3]
dostupné z: <http://johannesburg.olx.co.za/bmw-smg-gearbox-gs6s37bz-325ti-325i-325ci-525i-530i-z4-3-0-iid-516658060>
- [12] automatická převodovka, *řadící páka joystick*, [online]. 2014 [cit. 2014-24-3]
dostupné z: <http://www.autofreaks.net/2014/04/jpj-automatic-transmission-vehicles-for-driving-tests-begin-in-june/>

- [13] Sekvenční řazení, *pádla pod volantem*, [online]. 2014 [cit. 2014-15-3]
<http://www.tyden.cz/obrazek/padlo-49524af25ebb2.jpg>
- [14] Řazení pádly, *volant F1*, [online]. 2014 [cit. 2014-8-3]
http://f1news.autoroad.cz/fotogalerie/foto-detail/id/68261/?offset=40&piloti=0&tymy=0&year=0&zavody=0&zdroj=&zajimavosti=1245&zavod_id=&sekce_okruh_id=
- [15] Přímé řazení, *řadicí páka na víku převodovky*, [online]. 2014 [cit. 2014-8-3]
http://www.motomuseum.cz/img_win3.php?lang_id=&id_im_big=3738&im_type=jpg&imw_type=2
- [16] SAE international, *Rules & Important Documents*, [online]. 2014 [cit. 2014-6-1]
http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/2014_fsae_rules.pdf

12 Seznam příloh

Sestava řadicí páky.....	RP-00
Výrobní výkres čepu.....	RP-01
Svařenec řadicí páky.....	RP-04